

University of Groningen

## Understanding disk galaxies with the Tully-Fisher relation

Ponomareva, Anastasia

**IMPORTANT NOTE:** You are advised to consult the publisher's version (publisher's PDF) if you wish to cite from it. Please check the document version below.

*Document Version*

Publisher's PDF, also known as Version of record

*Publication date:*

2017

[Link to publication in University of Groningen/UMCG research database](#)

*Citation for published version (APA):*

Ponomareva, A. (2017). *Understanding disk galaxies with the Tully-Fisher relation*. [Thesis fully internal (DIV), University of Groningen]. Rijksuniversiteit Groningen.

### Copyright

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

The publication may also be distributed here under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license. More information can be found on the University of Groningen website: <https://www.rug.nl/library/open-access/self-archiving-pure/taverne-amendment>.

### Take-down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Downloaded from the University of Groningen/UMCG research database (Pure): <http://www.rug.nl/research/portal>. For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to 10 maximum.



# Nederlandse Samenvatting

Al sinds de oudheid heeft de mensheid naar de hemel gekeken en zag daar verschillende soorten sterren, sterrenbeelden en wazige nevels. In 1926 merkte Edwin Hubble op dat deze nevels verschillende vormen, kleuren en structuren hadden. Hij classificeerde hen in gladde elliptische en klonterige spiraalvormige nevels. Hiermee legde hij de basis voor de moderne classificatie van sterrenstelsels op basis van hun vorm. Tegenwoordig weten we veel meer van sterrenstelsels en hun structuurparameters, maar toch wordt de classificatie van spiraalvormige en elliptische sterrenstelsels nog steeds gebruikt. Elliptische sterrenstelsels zijn veelal rond van vorm, terwijl spiraalstelsels er meestal uitzien als platte schijven met twee of meer spiraalstructuren. Ons universum bestaat uit duizenden sterrenstelsels. Velen van hen bevinden zich in groepen of zelfs clusters van sterrenstelsels, terwijl andere een eenzaam bestaan leiden in voids. Opmerkelijk genoeg heeft onze Melkweg vele burens, maar bevindt het zich bijna aan de rand van het recent ontdekte supercluster genaamd Laniakia.

Het begrijpen van spiraalstelsels als fysische objecten en de manier waarop zij gevormd zijn, is een complexe taak die op verschillende manieren benaderd kan worden. Spiraalstelsels bestaan uit vele bouwstenen. Ze bevatten sterren van verschillende leeftijden die licht uitzenden op verschillende golflengtes. Jonge sterren zijn bijvoorbeeld zichtbaar in het ultraviolette licht, terwijl oudere sterpopulaties een piek hebben in het infrarode deel van het elektromagnetische spectrum. De helderheid van de verschillende sterpopulaties kan worden gemeten door gebruik te maken van verschillende fotometrische banden die gevoelig zijn voor de

golflengtes waarin de betreffende sterpopulatie voornamelijk straalt. Naast sterren bevatten spiraalstelsels over het algemeen ook veel gas, hetgeen essentieel is voor stervorming. De grootste gasreservoirs in sterrenstelsels zijn opgeslagen in de vorm van neutraal waterstof, het meest voorkomende element in het universum. Het neutrale gas in sterrenstelsels vormt een roterende schijf en kan worden waargenomen met radiotelescopen aangezien het straling uitzendt met een golflengte van 21 centimeter. Spiraalstelsels kunnen worden gekarakteriseerd door drie belangrijke parameters: hun afmeting, hun intrinsieke lichtkracht en de snelheid waarmee de schijf van het stelsel roteert. De empirische correlaties tussen deze drie parameters zijn fundamenteel voor het onderzoek naar de vorming en evolutie van spiraalstelsels. Elk succesvol model voor de vorming en evolutie van sterrenstelsels moet in staat zijn om de helling, de spreiding en het nulpunt van elke van deze schaalrelaties te voorspellen.

Dit proefschrift richt zich op het onderzoeken van de aard en de oorsprong van de meest bestudeerde maar minst begrepen schaalrelatie van spiraalstelsels: de relatie tussen hun intrinsieke lichtkracht en hun rotatiesnelheid. In andere woorden, de correlatie tussen hoe snel een sterrenstelsel ronddraait en hoe helder het is. Deze relatie staat bekend als de Tully–Fisher relatie (TFR), vernoemd naar de astronomen die hem ontdekten in 1977. Sindsdien is er veel onderzoek naar deze relatie gedaan en is het uitgegroeid tot e'e'n van de belangrijkste relaties voor spiraalstelsels. Van oorsprong werd de TFR ontwikkeld als een middel om afstanden te meten tot spiraalstelsels. Met radiotelescopen kan men de neutrale waterstoflijn detecteren. De breedte van deze lijn wordt geassocieerd met de rotatie van een sterrenstelsel en kan worden gebruikt om de rotatiesnelheid van een sterrenstelsel te meten. Deze rotatiesnelheid kan vervolgens op de X-as van de TFR geplaatst worden. Door gebruikt te maken van een gekalibreerde TFR relatie kan men nu de intrinsieke lichtkracht van het sterrenstelsel aflezen op de Y-as. De afstand tot het sterrenstelsel kan vervolgens bepaald worden door de afstandsmodulus te berekenen als het verschil tussen de afgeleide absolute magnitude en de waargenomen schijnbare magnitude. In recente jaren zijn er een aantal studies uitgevoerd met als doel de afstand tot zoveel mogelijk sterrenstelsels te bepalen door gebruik te maken van de TFR. Uiteindelijk hebben decennia van deze studies geresulteerd in de buitengewone ontdekking van het supercluster Laniakea waarin wij ons bevinden.

Oorspronkelijk gebruikt als een krachtig middel om afstanden tot schijfvormige sterrenstelsels te bepalen, heeft de TFr zich zeer snel gevestigd als de meest wijd gebruikte relatie in verschillende gebieden van extragalactische sterrenkunde. Als empirische relatie tussen fundamentele eigenschappen van spiraalstelsels werd het gebruikt om de onbekende massa van de baryonische component van sterrenstelsels te schatten, om de aard van dwergsterrenstelsels onder invloed van getijdenwerking te onderzoeken door naar hun positie in de TFr te kijken en om het gedrag en de aard van sterrenstelsels met verschillende vormen, oppervlaktehelderheden en afmetingen te bestuderen door te kijken of ze dezelfde TFr delen. Het is aangetoond dat de TFr standhoudt over een groot bereik van golflengtes en in verschillende omgevingen van sterrenstelsels. Sterrenstelsels die afwijken van de TFr zijn zelfs bestudeerd als potentiële locaties voor buitenaards beschavingen.

Hoewel de aard en de oorsprong van de TFr onduidelijk blijven, geeft het overduidelijk een verband tussen de baryonische inhoud van een sterrenstelsel, gekarakteriseerd door de lichtkracht, en de totale dynamische massa, gekarakteriseerd door de rotatiesnelheid. Hierdoor is het e'e'n van de krachtigste relaties geworden in de extragalactische astronomie en levert het belangrijke randvoorwaarden voor semi-analytische modellen en numerieke simulaties van de vorming en evolutie van sterrenstelsels. Het is daarom van groot belang om een definitieve TFr tot stand te brengen en om de statistische eigenschappen van de TFr (spreiding, helling en nauwheid) te onderzoeken.

Dit specifieke onderzoek is tot in detail uitgevoerd in dit proefschrift:

- De afgelopen decennia is gebleken dat de TFr standhoudt over een breed scala aan golflengtes. Er wordt echter gesuggereerd dat de spreiding in de TFr kan worden verkleind door de lichtkracht in de nabij-infrarode banden te gebruiken, waar de oudere sterpopulaties pieken, aangezien de nabij-infrarode fotometrie een goede voorspeller blijkt voor de stellaire massa van sterrenstelsels. Ondanks de duidelijke voordelen van diepe nabij-infrarode fotometrie, was het echter tot nu toe nog steeds onduidelijk op welke golflengte de kleinste spreiding in de TFr bereikt kan worden.

*De kracht van het huidige onderzoek is dat voor de eerste keer een goed gedefinieerde verzameling van nabije sterrenstelsels met bekende afstanden, een uniforme fotometrie van ultraviolette tot aan*

*infrarode golflengtes en consistent toegepaste correcties in overweging is genomen. Daarom kan ik met mijn onderzoek zeker e'e'n van de belangrijkste vragen met betrekking tot de TFr beantwoorden: in welke fotometrische band is de TFr het nauwst en hoe verandert de helling van de TFr met golflengte.*

- Tot dusverre zijn alle observationele studies van de TFr gebaseerd op de gecorrigeerde breedte van het globale HI lijnprofiel, terwijl er weinig aandacht is besteed aan het verbeteren van de metingen van de rotatiesnelheid.

*In deze studie verbeter ik de meting van rotatiesnelheden van spiraalstelsels door gebruik te maken van ruimtelijk opgeloste snelheidskaarten, die helpen om af te leiden hoe de rotatiesnelheid van een sterrenstelsel varieert als functie van de straal.*

- Doordat de TFr de baryonische inhoud van een sterrenstelsel door zijn lichtkracht verbindt met de totale dynamische massa (rotatiesnelheid) wordt de fysieke aard van de TFr beschouwd als een relatie tussen de baryonische massa van een sterrenstelsel en de massa van zijn donkere materie halo. Recentelijk is er daarom veel onderzoek gedaan naar de relatie tussen de baryonische massa van een sterrenstelsel en zijn rotatiesnelheid, de zogenaamde baryonische TFr (BTFR). Onderzoek naar de BTFR wordt echter geassocieerd met nog grotere onzekerheden en observationele limieten omdat, in tegenstelling tot licht, de baryonische massa van een sterrenstelsel zeer moeilijk af te leiden is. De baryonische massa van een sterrenstelsel wordt doorgaans gemeten als de som van de stellaire en gasvormige componenten.

*In deze studie gebruik ik vele verschillende methodes om de stellaire massa van sterrenstelsels te schatten. Daarom bestudeer ik niet alleen de statistische eigenschappen van de BTFR, maar ook het effect van verschillende methodes om de stellaire massa te bepalen op de statistische eigenschappen van de BTFR.*

- Zoals reeds beschreven, worden de statistische eigenschappen van de BTFR gewoonlijk gebruikt als observationele beperking voor modellen gerelateerd aan de vorming en evolutie van sterrenstelsels.

*In dit onderzoek vergelijk ik mijn observationele resultaten met meerdere theoretische voorspellingen binnen het  $\Lambda$ CDM kosmologische model en een aantal alternatieve theorieën.*